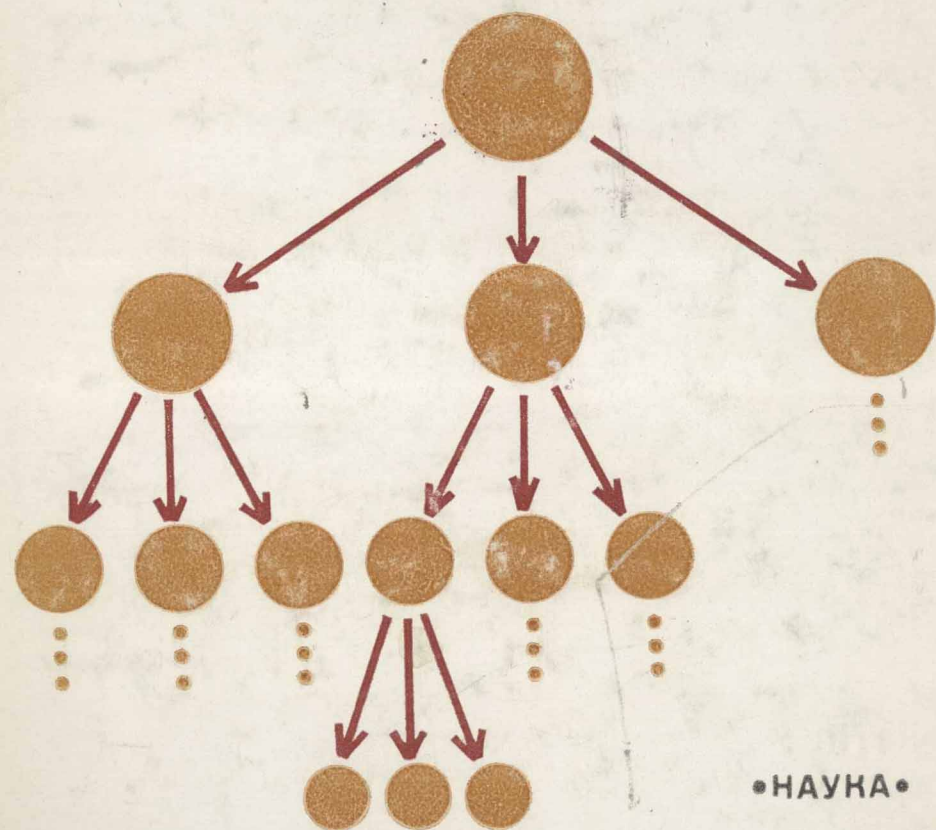


М.Б.Игнатьев
В.А.Путилов
Г.Я.Смольников

МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ



• НАУКА •

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Сибирский институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн

М.Б.Игнатъев, В.А.Путилов, Г.Я.Смолюков

МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук
Е.А. ПОНОМАРЕВ



МОСКВА "НАУКА" 1986

Игнатъев М.Б., Путилов В.А., Смольков Г.Я. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями. М.: Наука, 1986.

Монография посвящена вопросам организации многоуровневых распределенных автоматизированных систем управления комплексными экспериментальными научными исследованиями. Рассматриваются формальные модели предметной области комплексных экспериментов и модели автоматизированных систем управления этими экспериментами.

Книга рассчитана на специалистов в области организации и автоматизации сложных экспериментальных исследований.

Ил. 43. Табл. 4. Библиогр. 197 назв.

Рецензенты:

Э.Л. АФРАЙМОВИЧ, В.М. МАТРОСОВ, Ю.Ф. РЯБОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Характерной чертой современной науки является постоянное углубление научных исследований, широкое применение автоматизации эксперимента и обработки данных. При росте сложности и информативности процессов исследований, возрастании требований к сокращению времени получения и к качеству научного результата автоматизация научных исследований — основное средство повышения эффективности фундаментальной и прикладной науки и, следовательно, ускорения научно-технического прогресса.

Для современной науки стала весьма актуальной задача организации комплексных исследований, т. е. изучения различных сторон объектов, явлений и процессов согласованно во времени, пространстве и по параметрам конкретных измерений. Организация таких исследований обуславливает необходимость объединения в единую информационную систему разнообразных по функциональному назначению и сложности автоматизированных экспериментальных установок и средств обработки научной информации. Задачи организации комплексных исследований поставлены и решаются в ядерной физике, геофизике, метеорологии, океанологии, сейсмологии, медицине и многих других областях науки. Одним из первых примеров организации комплексных исследований является проект "Международный геофизический год" (1957–1958 гг.), когда впервые был реализован глобальный подход к изучению большинства геофизических процессов и явлений. Примером современных глобальных исследований служит международная геосферно-биосферная программа "Глобальные изменения", организуемая по инициативе Международного совета научных союзов. Комплексные исследования по этой программе направлены на изучение долговременных и кратковременных взаимных воздействий между оболочками Земли (литосферой, биосферой, гидросферой, атмосферой и окружающей космической средой), как естественных, так и обусловленных деятельностью человека.

Характерной областью развития комплексных исследований является солнечно-земная физика, предметом которой является изучение солнечно-земных связей, т. е. влияния солнечной активности на процессы в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли. Современные знания солнечно-земных связей основываются не просто на очевидной и статистической зависимости. Использование разнообразных, в том числе ракетных и спутниковых, методов экспериментальных исследований в солнечно-земной физике позволило вступить в совершенно новую эру, что и обусловило резкое увеличение знаний в этой области за последнее десятилетие. Вместе с тем стало совершенно очевидно,

что решение главных на ближайшее будущее фундаментальных проблем — создание моделей солнечной активности и моделей солнечно-земных связей — и весьма важных практически вопросов разнообразных воздействий Солнца на Землю невозможно без реализации согласованных всесторонних исследований процессов на Солнце, в космическом пространстве, магнитосфере и ионосфере Земли. Примером автоматизации комплексного эксперимента в солнечно-земной физике служит созданная в конце 70-х годов в США распределенная автоматизированная система сбора и обработки данных солнечно-земных связей SELDADS [173]. Эта система обслуживает глобальные наземные и спутниковые измерения. Система получает и обрабатывает информацию о состоянии солнечной активности в оптическом и радиодиапазонах, о рентгеновском излучении Солнца и межпланетного пространства, корпускулярном излучении Солнца, состоянии магнитосферы и ионосферы Земли, а также метеорологические данные. Результаты обработки информации используются Службой предупреждений и прогнозов и поступают в Мировой центр данных. Эта система впервые продемонстрировала практические возможности мониторинга в солнечно-земной физике и уровень технической сложности реализации подобных систем.

В нашей стране задачи организации автоматизированных комплексных экспериментальных исследований в солнечно-земной физике решаются Сибирским институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (СибИЗМИР) Сибирского отделения АН СССР, Полярным геофизическим институтом Кольского филиала АН СССР, Институтом космофизических исследований и аэронавтики Якутского филиала Сибирского отделения АН СССР. Создаются соответствующие автоматизированные системы комплексных экспериментальных исследований. Предлагаемая вниманию читателей книга подготовлена на основе результатов десятилетней деятельности СибИЗМИР в области разработки автоматизированных систем комплексных исследований солнечно-земных связей.

Автоматизированные системы комплексных научных исследований — это сложные распределенные многоуровневые структуры, содержащие наряду с экспериментальными установками многомашинный вычислительный комплекс и большой объем интерфейсного оборудования. В комплексных исследованиях используется широкий спектр экспериментальных установок с разнообразными информационными характеристиками для изучения различных сторон объектов, явлений и процессов. В силу специфических требований к условиям эксперимента установки зачастую распродоточены территориально. Приведем характерные особенности таких автоматизированных систем.

1. Системы имеют, как правило, четко выраженную иерархическую многоуровневую структуру. Этот факт объясняется рядом обстоятельств. Во-первых, иерархическая структура системы логично отражает структуру процесса решения задач комплексных исследований — от общей задачи к частным подзадачам и т. д., так как в системе комплексных исследований общая задача логически сводится к потоку физически осмысленных подзадач, реализуемых конкретными классами экспериментов; далее происходит сведение классов к последовательностям конкретных экспериментов из этих классов и т. д. (подробнее о декомпозиции задач см. в гл. 2).

Во-вторых, системы автоматизации комплексных исследований создаются не на "пустом месте". Решению комплексных задач предшествует автоматизация отдельных (локальных) экспериментов и обработка экспериментальных данных на ЭВМ, т. е. перед переходом к комплексным исследованиям уже функционируют отдельные элементы различных уровней иерархической системы. В-третьих, сложность автоматизированных систем комплексных исследований заставляет создавать эти системы постепенно: сначала объединяется часть автоматизированных экспериментальных установок для обеспечения отдельной области комплексного эксперимента, затем реализуется другая область, объединяются области и т. д. То же самое относится и к расширению функций системы на нижнем уровне.

2. Автоматизированные системы комплексных исследований — это системы реального времени. Требования к синхронизации вычислительных процессов во времени в общем случае различны для разных уровней организации системы. В локальных автоматизированных экспериментальных комплексах вся работа по управлению экспериментом идет в реальном времени. Здесь требования к синхронизации наиболее жестки. Далее по уровням жесткость этих требований снижается, а на верхнем уровне, где, как правило, модулируются изучаемые процессы и явления и планируются эксперименты, предъявляются требования только к общему времени реализации вычислительных процессов.

3. В организации и проведении комплексных исследований принимает участие широкий круг специалистов с различной профессиональной ориентацией и разными приложениями в автоматизированной системе (подробнее см. в гл. 2). Коллектив исследователей является неотъемлемой и очень важной частью автоматизированной системы. Априорная неопределенность процедур организации исследований предполагает обязательное наличие диалоговых средств общения исследователей с системой на всех уровнях решения комплексных задач.

В последние годы сформировались общие требования к структурно-алгоритмической организации автоматизированных систем научных исследований рассматриваемого класса [36, 91, 92]:

- проектирование системы нужно проводить "сверху вниз": от задач к структурно-алгоритмической и программно-аппаратной реализации;

- система должна быть гибкой, т. е. содержать эффективные средства изменения и расширения возможностей как на аппаратном, так и на программном уровнях;

- в качестве входных языков системы нужно использовать проблемно- и системно-ориентированные языки, облегчающие процесс общения с системой для различных групп исследовательского коллектива;

- организация системы должна предусматривать поэтапную разработку, реализацию и модернизацию подсистем.

Основным предметом рассмотрения в книге являются вопросы такой организации многоуровневых автоматизированных систем управления комплексными экспериментальными научными исследованиями.

В книге развивается концепция функционально-целевого подхода к решению задач синтеза и анализа этих систем, предполагающего соответствие функций автоматизированной системы целям предметной области комплексного эксперимента на всех уровнях системной организации.

В первой главе рассматриваются разнообразные аспекты комплексных научных исследований как качественно нового направления в разных областях современной науки. Подробно анализируются комплексные исследования в солнечно-земной физике: задачи, методы решения, проблемы реализации. Приводятся сведения о различных глобальных международных программах комплексных исследований. Материал этой главы не претендует на полноту рассмотрения новой научной проблемы и строгость изложения. Основное назначение материала — донести в доступной форме до экспериментаторов и специалистов в области создания средств сложного автоматизированного эксперимента информацию о предметной области, для изучения которой они создают соответствующее системное обеспечение.

Во второй главе приводится общая модель организации и проведения комплексных исследований как целенаправленного пополнения и изменения базы знаний АСНИ — организованной совокупности сведений о предметной области и методах организации автоматизированных исследований в этой области. Структурируется коллектив исследователей в соответствии с профессиональной ориентацией и задачами, решаемыми при организации и проведении исследований. Строится модель взаимодействия группы исследовательского коллектива с элементами общей модели исследований. Для характеристики гибкости систем управления экспериментами вводятся показатели вариативности целей экспериментальных исследований и вариативности действий, выполняемых экспериментальной системой. Определяются источники вариативности целей и действий, выделяются компоненты логической организации системы, обеспечивающие необходимую вариативность действий. Строится и анализируется формальная алгебраическая рекуррентная модель предметной области (комплексных исследований), основанная на рекуррентной декомпозиции целей исследований. Рассматривается модель адекватной автоматизированной системы, основанная на аналогичной декомпозиции действий по организации и проведению исследований. Основное назначение моделей — формализация задач синтеза АСНИ, адекватных структуре предметной области исследований. Модели предполагают, что процесс детализации комплексной задачи представляется деревом декомпозиции целей исследований.

Структурно-алгоритмическая организация многоуровневых АСНИ на базе рекуррентной модели рассматривается в третьей главе. Вводится рекуррентное понятие формулы экспериментальных исследований на любом уровне декомпозиции. Анализируется процедура построения алгоритма исследований, достигающего поставленную цель. Рассматриваются способы построения алгоритмов с заданными характеристиками. Для выбора конкретного варианта из некоторого множества алгоритмов с известными параметрами вводится критерий качества алгоритма. Определяется проблемно-ориентированный язык со сменным понятийным аппаратом для рекуррентного вывода алгоритмов эксперимента. В качестве принципиальной основы языка использована формальная рекуррентная модель декомпозиции целей и действий. Рассматривается структура системы интерактивного построения алгоритмов комплексных экспериментальных исследований. Система имеет базы знаний — общую и персональные базы исследователей. Процесс заполнения общей базы является настройкой

системы на предметную область. После настройки эта база содержит модель предметной области. Исследуется структура автоматизированной системы, адекватной предметной области комплексных исследований.

В четвертой главе рассматриваются системно-ориентированные средства многоуровневых АСНИ. Приводятся формальное описание системно-ориентированного технологического языка, предназначенного для описания действия в автоматизированном эксперименте, и структура транслятора с этого языка. Рассматриваются методы обеспечения гибкости на системно-ориентированном уровне. Строится формальная модель программного модуля, приводится алгоритм адаптивного синтеза новых программных модулей с использованием критерия адаптации.

Пятая глава посвящена проблеме синтеза алгоритмов обработки экспериментальной информации. При решении задачи автоматического синтеза процедур обработки основным предметом рассмотрения является класс обрабатывающих структур, представимых в виде одномерной композиции функциональных блоков. Приводятся и исследуются алгоритмы синтеза обрабатывающих структур, оптимальных в смысле некоторой численной оценки результата обработки. Рассматривается способ задания этой оценки на специальном языке описания качества результата, предназначенном для интерактивного определения целевой функции в задаче структурной оптимизации. Язык описания качества строится как функционально-рекурсивный язык со сменным понятийным аппаратом.

В шестой главе рассматриваются структурно-алгоритмическая организация и программно-аппаратная реализация многоуровневой территориально-распределенной автоматизированной системы исследований солнечно-земных связей — ТРАС СибИЗМИР. Объект автоматизации в ТРАС — комплексные исследования в солнечно-земной физике. Эти исследования отличаются большим разнообразием задач, постоянно меняющихся как по постановке, так и по структуре. Декомпозиция задач имеет отчетливо выраженный иерархический рекуррентный характер. В ТРАС реализована многоуровневая распределенная структура, адекватная иерархической организации решаемых системой задач. Рассматриваются уровни организации системы, реализация типовых программно-аппаратных решений.

В качестве примера автоматизированного локального экспериментального комплекса ТРАС в седьмой главе рассмотрен Сибирский солнечный радиотелескоп, в системе автоматизации которого реализованы практически все принципы организации, примененные в других локальных комплексах ТРАС. Рассмотрены многоуровневая система автоматизации радиотелескопа, структура системы программного обеспечения управления экспериментальными радиоастрономическими исследованиями и обработки экспериментальных данных. Подробно изложены принципы работы и программно-аппаратная реализация наиболее сложного компонента комплекса автоматизации радиотелескопа — системы управления распределенным антенно-волноводным трактом.

Таким образом, в книге сделана попытка рассмотрения с единых позиций процесса создания гибких многоуровневых АСНИ, который обеспечивает целенаправленный синтез таких систем, оптимальных в смысле соответствия структуре задач предметной области исследований, и организацию автоматизированных исследований совместными усилиями различных

групп исследовательского коллектива. Рассматриваются вопросы автоматизации только экспериментальных исследований. Процессы автоматизированного исследования моделей изучаемых объектов, явлений и процессов, представляющие самостоятельный интерес, в книге практически не затрагиваются.

Материал монографии рассчитан на широкий круг специалистов по организации и автоматизации сложных экспериментов в различных проблемных областях современной науки. Авторы надеются, что книга окажется полезной и специалистам по автоматизации исследований и процессов в других приложениях: системах автоматизированного проектирования, гибких производственных системах и т. п. При чтении глав 2–5 предполагается знакомство читателей с основами абстрактной алгебры и теории графов. Рассмотрение проблемно- и системно-ориентированных языковых средств основано на знании читателями принципов построения операционных систем современных мини-ЭВМ и алгоритмического языка ФОРТРАН-4. Примеры практической реализации автоматизированных систем предполагают знакомство читателей с архитектурой современных мини- и микро-ЭВМ, аппаратурой КАМАК, широко применяемой в АСНИ.

Приложение к книге написано В.В. Михайловым, М.В. Мартыновой и К.М. Игнатьевым. В подготовке издания принимали участие сотрудники СибИЗМИР В.В. Белош (гл., 7, разд. 2.2), С.Л. Лидин (гл. 5, разд. 4.4). Авторы выражают благодарность этим коллегам и коллективам лабораторий вычислительной техники и автоматизации, автоматизации радиоастрономических исследований СибИЗМИР за помощь при подготовке материала.

Глава 1

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение большинства проблем многих отраслей современной науки и техники неизбежно связано с выполнением сложных экспериментов с целью всестороннего исследования изучаемых объектов с одновременным или последовательным применением различных методов измерений или наблюдений, их различных свойств, объединением в согласованные программы разнообразных установок и приборов, привлечением специалистов ряда областей знаний. Поэтому исследования приобрели комплексный и коллективный характер. Такими же могут быть даже отдельные подпрограммы или этапы выполнения сложных исследований.

Комплексность исследований может быть обусловлена:

сложностью самой природы или масштабностью проявлений изучаемого объекта и связанной с этим широкой программой взаимосвязанных экспериментов (разнообразное одновременное проявление свойств изучаемого объекта, независимость или функциональная связь его особенностей, последовательное развитие процесса в различных условиях (средах) с наблюдением новых эффектов приводят к необходимости использования отличающихся методов и средств исследования);

сложностью технического обеспечения и выполнения экспериментов.

В случае особенно сложных исследований проблема решается многостадийно: от постановки задачи и выбора объекта исследования через обоснование требований к параметрам и принципу действия экспериментальных средств, разработку методов измерений или наблюдений, выбор или проектирование и создание необходимых приборов и установок, макетную проверку и исследование экспериментальных установок к выполнению собственно эксперимента, анализу экспериментальных данных, моделированию изучаемых явлений и интерпретации полученных результатов.

Последовательное развитие исследований сопровождается повышением требований к параметрам экспериментальных средств, например повышению чувствительности, мощности, надежности, увеличению быстродействия, пространственной и спектральной разрешающей способности и т. д. Достижение лучших параметров неизбежно влечет за собой усложнение экспериментов, разработку и создание различных многосистемных измерительных комплексов. В таких экспериментах участвуют большие коллективы, на подготовку и выполнение экспериментов затрачивается длительное время; эксперименты могут требовать значительного финансового и материально-технического обеспечения, привлечения проектных, промышленных, строительно-монтажных и других организаций.

Комплексные исследования, как правило, сопровождаются большими объемами регистрируемой и обрабатываемой информации; необходи-

мостью контроля работоспособности оборудования и управления ходом выполнения эксперимента, сбора и оперативного отображения результатов измерений, оценки полученных данных для диагностики состояния объекта исследования и прогноза его развития (с целью своевременного уточнения программы дальнейшего выполнения эксперимента), обработки экспериментальных данных для своевременного их научного анализа и практического использования. Исследования могут сопровождаться сложным и трудоемким аппаратом анализа данных и их интерпретации. В некоторых случаях эксперименты выполняются автоматически, т. е. без участия человека (например, на космических аппаратах), их результаты поступают во время сеансов связи с приборами.

Решение этих вопросов организации комплексных исследований невозможно без применения соответствующей вычислительной техники и устройств ее связи с измерительной аппаратурой и исследователями, т. е. программно-аппаратных средств, позволяющих практически автоматизировать действие и использование экспериментальных установок. Наличие в измерительных комплексах ряда автономных или взаимосвязанных систем, выполняющих различные функции, придает автоматизации многоуровневый и многоцелевой характер. В таких сложных системах особое значение приобретает проблема адекватности функций автоматизированной системы процессу решения поставленных задач. При этом автоматизированная система комплексных исследований должна развиваться в связи с уточнением программы исследований, появлением новых экспериментальных задач, изменяющимися требованиями к системе.

Существенным фактором в выполнении современных экспериментов с применением вычислительной техники является общение с ЭВМ. Участие в комплексных исследованиях различных специалистов, большие объемы массивов экспериментальных данных, необходимость управления экспериментом требуют создания определенного "комфорта" в общении пользователей с ЭВМ (квазиестественный язык диалога с ЭВМ, графические средства диалога, оперативность и т. п.).

Автоматизация эксперимента в комплексных исследованиях, следовательно, может играть существенную, если не ключевую, роль в аппаратном обеспечении и условиях выполнения работ. Затраты на разработку и создание автоматизированной системы могут составлять значительную долю стоимости исследований. Поэтому от правильности и своевременности постановки задачи автоматизации эксперимента, идеологического и технического уровня ее решения в большой степени зависит успех комплексных исследований.

В процессе комплексных исследований может быть необходимым численное или лабораторное моделирование изучаемых явлений в целом или их отдельных свойств. Такой подход особенно необходим в исследованиях быстропротекающих, неповторяющихся или значительно отличающихся друг от друга явлений; объектов, недостижимых для непосредственного наблюдения или воздействия (астрономических объектов или глубинных процессов в океане и земной коре); процессов с невоспроизводимыми временными, пространственными или энергетическими масштабами.

В связи с этим неизбежно возникает необходимость в продуманной организации комплексных исследований, разработке модели самого экспе-

римента. Даже мысленное "проигрывание" программы исследований позволяет убедиться в степени подготовленности к ее выполнению, определить правильность или сомнительность отдельных ее фрагментов и т. д. Моделирование же эксперимента помогает окончательно определить логическую связь между участниками исследований, этапами работ, системами экспериментальных средств, проверить правильность выбора метода исследования, оценить его погрешности и т. п.

Следовательно, для успешного и эффективного выполнения современных сложных исследований еще в большей степени, чем раньше, необходима своевременная разработка методологии их выполнения, путей и средств достижения ожидаемых результатов, концепции программы эксперимента, организации всех видов обеспечения. А это возможно лишь в случае заблаговременного системного подхода к подготовке и выполнению комплексных исследований, позволяющего достигнуть максимальной эффективности исследований, оптимальных (в определенном смысле) решений при минимальных затратах.

1.1. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКЕ

Одной из отраслей современной науки, которой комплексный характер исследований особенно присущ, является солнечно-земная физика. Она изучает природу воздействия солнечной активности на радиационные условия в околоземном космическом пространстве и геофизическую обстановку на нашей планете [3, 46, 70, 151].

Солнечно-земная физика сложилась в последние десятилетия в результате последовательного развития казавшихся ранее разрозненными исследований солнечной активности, межпланетной среды, электромагнитного поля, ионосферы и нейтральной атмосферы Земли.

Глобальные планетарные проявления геофизических процессов обусловили объединение отдельных станций и обсерваторий. Бурное развитие прямых исследований космического пространства привело к еще большей интеграции и целенаправленности геофизических наблюдений, поставило новые задачи и потребовало по-новому организовать их выполнение. Физика Солнца, развивавшаяся раньше как отрасль астрономии [13, 60, 65] в целях детального изучения атмосферы ближайшей звезды, вследствие геоэффективности солнечной активности стала одновременно и неотъемлемой частью солнечно-земной физики. Это обстоятельство играет роль обратной связи и стимулирует целенаправленное изучение проявлений солнечной активности, приводящих к геофизическим эффектам. Вместе с тем солнечно-земная физика имеет дело с природной лабораторией, позволяющей изучать плазменные, магнитогидродинамические и газодинамические явления в естественных условиях. Это обстоятельство указывает на фундаментальную научную значимость как физики Солнца, так и солнечно-земной физики в целом.

Геоэффективные последствия солнечной активности [5, 38—40, 47, 48, 124] довольно многочисленны [3, 46, 70, 147, 151, 172]. Их учет и предсказание становятся все более необходимыми, поскольку они связаны с разнообразными возмущениями окружающей среды [5, 70, 114]. Так, мощное электромагнитное излучение, потоки заряженных частиц и ударные волны,

возникающие во время солнечных вспышек, могут нарушить функционирование системы ориентации, связи и некоторых приборов на космических аппаратах. При пилотируемых полетах в космосе необходима радиационная защита экипажей. Магнитосферные и ионосферные возмущения приводят к нарушениям работы средств связи, навигации, слежения и оповещения на Земле, возникновению экстремальных ситуаций в больших энергетических системах, ускорению коррозионных процессов в протяженных подземных трубопроводах [5]. В последнее десятилетие учитывается непосредственное влияние солнечной активности на погодообразующие процессы [46]. Имеются указания на заметное изменение солнечной постоянной после вспышек. Надежно установлена связь между солнечными вспышками и характером протекания некоторых биохимических процессов, обострениями сердечно-сосудистых заболеваний, замедлениями скорости реакции живых организмов на внешние раздражения. Имеются свидетельства о том, что возмущения в окружающей среде, обусловленные солнечными вспышками, могут приводить к нарушениям действия системы ориентации сложных живых организмов [3, 5].

Поэтому изучение солнечной активности и солнечно-земных связей, прогнозирование их развития связаны с повседневными практическими потребностями.

Прогнозирование солнечно-земных связей включает:

долгосрочные солнечные прогнозы (на несколько лет): 22-летнего цикла солнечной активности, солнечной активности с заблаговременностью 2—3 года;

солнечные прогнозы средней заблаговременности (на несколько месяцев): активных долгот на Солнце, рекуррентной геомагнитной активности;

краткосрочные солнечные прогнозы (на несколько дней): геоэффективных индексов солнечной активности, зарождения и развития центров активности, корональных дыр, внезапных исчезновений волокон, мест возникновения вспышек, гомологических вспышек, предвестников вспышек, ускорения частиц во вспышке, радио- и рентгеновского излучения вспышек, доз облучения (особенно на спутниках), использования спутниковых экспериментов в прогностических целях, моделей солнечных прогнозов;

ионосферное прогнозирование: общих свойств ионосферы (модели, наблюдения, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение Солнца, геоэффективные индексы солнечной активности), долгосрочных прогнозов (на несколько лет), среднеширотной ионосферы, экваториальной ионосферы, ионосферных сцинтилляций, полного электронного содержания, ионосферного распространения радиоволн, ежесуточных прогнозов, магнитно-ионосферных связей (суббурь и их непосредственных эффектов) [5, 8, 39, 70, 114, 151];

прогноз радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве в связи с выбором времени и условий пилотируемых космических полетов.

Недостаточная однородность и непрерывность наблюдений, отсутствие единой полной теории солнечной активности делают пока невозможным однозначное прогнозирование по всем рассмотренным видам прогнозов. В связи с этим разрабатываются и принимаются к реализации специальные

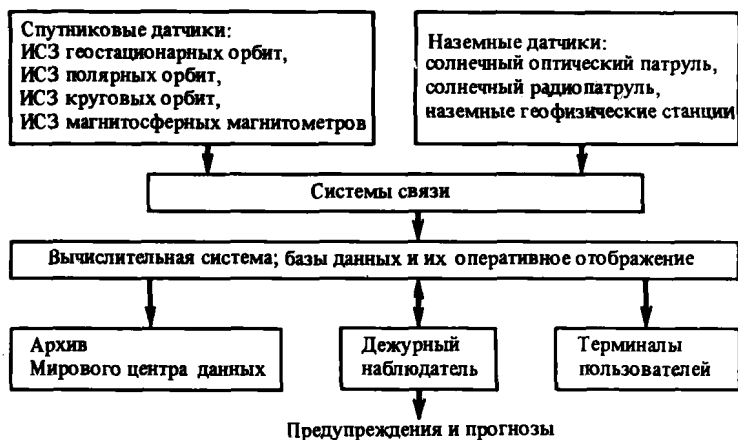


Рис. 1.1. Структура системы SELDADS

национальные программы комплексных исследований в области солнечно-земной физики (см., например, [172]).

Значительная изменчивость солнечной активности с различными характерными временами от секунд до десятков лет вынуждает регулярно следить за ее состоянием, объединяя обсерватории, расположенные в разных долготных интервалах, согласованными программами наблюдений [169, 173].

В качестве примера системы оперативного слежения за состоянием солнечной активности и вызванными ею геофизическими возмущениями рассмотрим систему мониторинга и прогнозирования обстановки в реальном времени SELDADS (CMA) [173], созданную в 70-е годы лабораторией космической обстановки Национального океанического и атмосферного управления совместно со Службой погоды воздушных сил США. С помощью наземных и спутниковых каналов связи в эту систему поступают данные наблюдений, выполняемых солнечными и геофизическими обсерваториями, а также космическими аппаратами заинтересованных стран. Географическое расположение наземных обсерваторий и траектории искусственных спутников Земли (ИСЗ) позволяют получать гелиогеофизическую информацию непрерывно в течение суток. Вся информация хранится в памяти ЭВМ этой распределенной автоматизированной системы, воспроизводится и анализируется для диагностики состояния и прогноза развития солнечно-земных связей, а затем передается пользователям или в архив Мирового центра данных для последующего научного анализа. Схема SELDADS приведена на рис. 1.1.

Текущая информация содержит данные о рентгеновском излучении Солнца, солнечном ветре и заряженных частицах, измеренных на высотах ИСЗ; магнитном поле Земли на высотах геостационарных ИСЗ; полном количестве электронов; солнечных явлениях в линии H_{α} , их изображениях и патруле; потоке и всплесках солнечного радиоизлучения на дискретных частотах; динамических спектрах всплесков солнечного радиоизлучения; наблюдениях солнечных кальциевых флоккулов: интенсивности свечения

солнечной короны в спектральных линиях; наблюдениях групп солнечных пятен в белом свете; оптических наблюдениях полярных сияний, отраженном рассеянии радарных сигналов полярными сияниями при ионозондовых экспериментах; высотно-частотных характеристиках ионосферы; внезапных ионосферных возмущениях; ионосферном поглощении космического радиоизлучения на высоких широтах; наземных наблюдениях геомагнитного поля. Информация о состоянии солнечной активности получается по телексу от шести автоматизированных солнечных телескопов, входящих в глобальную сеть патрулирования солнечных вспышек. Изображение Солнца, наблюдаемое седьмым телескопом, расположенным непосредственно в Прогностическом центре в Боулдере, воспроизводится на экране дисплея дежурного наблюдателя в реальном масштабе времени.

Данные о рентгеновском излучении, потоках заряженных частиц и геомагнитном поле, регистрируемые на геостационарных ИСЗ, передаются по каналам спутниковой телеметрии. Наиболее рельефно геоэффективность солнечной активности проявляется в высокоширотных зонах. Данные об этом поступают через 15-минутный интервал. При необходимости они некоторое время могут храниться во внешней памяти ЭВМ. Информация, получаемая по спутниковым каналам связи, предварительно обрабатывается станцией наземного слежения, а затем по телефонным линиям связи поступает в коммуникационную систему SELDADS. Собранные данные не только составляют основу службы предупреждений и прогнозов, но служат текущей оперативной базой данных. Информация за четверо суток хранится в детализированной форме, а за 32 сут — в усредненной. Следовательно, реально получить от Прогностического центра информацию не только об интересующих геофизических и солнечных событиях в текущем месяце, но и оценить возможность их рекуррентного проявления. Данные за более ранние периоды поступают в Мировой центр данных для систематизации и хранения.

Вычислительные средства SELDADS состоят из трех мини-ЭВМ NOVA-1200. Две из них используются для обработки поступающей информации. На основе третьей ЭВМ выполнена коммуникационная система между датчиками информации первых двух ЭВМ и устройствами выдачи окончательных результатов. Система постоянно развивается в соответствии с растущими требованиями, предъявляемыми к ней.

Национальный прогностический центр США в Боулдере с помощью SELDADS обслуживает предупреждениями и прогнозами пользователей, обеспечивших себя каналами связи с пультом дежурного наблюдателя. Запросы пользователей поступают в коммуникационную систему, где определяется последовательность обработки данных, вид обработки, носитель выдаваемой информации. Пользователь указывает вид и формат запрашиваемой информации (графики, таблицы, гистограммы на бумаге, светокопии с экранов графических терминалов, данные на магнитных ленте или диске).

Служба предупреждений и прогнозов может эффективно функционировать только при условии своевременного получения полной и достоверной информации, а также комплексного ее анализа. В идеальном случае информация должна поступать непрерывно в реальном масштабе времени, т.е. без задержек между регистрацией явления и его отображением на

экранах дисплеев прогностического центра. Ближе всего к этому идеалу находится Прогностический центр в Боулдере.

Система SELDADS демонстрирует практические возможности мониторинга космической и геофизической обстановок, а также степень и характер технической сложности реализации решения этой проблемы солнечно-земной физики. Этот весьма показательный пример свидетельствует о необходимости использования в солнечно-земной физике наряду со сложной системой измерительных установок распределенных многоуровневых комплексов автоматизации даже на стадии оперативной регистрации, сбора и отображения гелиогеофизической обстановки.

Отечественная территориально-распределенная система автоматизации научных исследований в области солнечно-земной физики, разработанная в СибИЗМИР, рассмотрена в главах 6, 7.

Для объединения усилий заинтересованных стран международные научные организации (Международный астрономический союз, Специальный комитет по солнечно-земной физике, Комитет по космическим исследованиям, Комиссия академий наук социалистических стран по планетарной геофизике, Служба солнечно-земной окружающей обстановки и др.) разрабатывают интернациональные программы и проекты для коллективного согласованного изучения актуальных проблем солнечно-земной физики.

После "Международного полярного геофизического года" (1932 г.), пожалуй, впервые наиболее широко охватили развившиеся в послевоенные годы гелиогеофизические исследования программы "Международный геофизический год" (МГГ) (1957—1958 гг.) и "Международный год спокойного Солнца" (1959—1960 гг.). Создание международных центров сбора и хранения данных для свободного их использования привело к существенному развитию комплексных исследований в рамках солнечно-земной физики. Правительственная поддержка подготовки и выполнения программы МГГ способствовала созданию новых обсерваторий и станций как в нашей стране, так и за рубежом.

1.2. ПРОГРАММЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В области солнечно-земной физики комплексные исследования имеют разнообразный характер. Одни из них выполняются в рамках отдельных ее разделов по специализированным программам, другие — в интересах решения ряда смежных проблем. Имеются программы комплексных исследований, охватывающих практически все ее аспекты, а также междисциплинарные проекты, в которые солнечно-земная физика входит в целом или своими разделами соответствующей составной частью. Обширность, структура и глубина исследований по таким программам определяются поставленными задачами, используемыми методами наблюдений, числом организаций (участников, объединяемых в ведомственные, национальные или международные кооперации); выделяемыми для их выполнения временем и средствами и т.д. Вследствие физических связей между объектами исследования многие программы исследований в той или иной степени перекрывают друг друга. Ниже приведено краткое описание ряда программ комплексных исследований, характерных для солнечно-земной физики.

Программы и подпрограммы Комиссии академий наук социалистических стран по планетарной геофизике (КАПГ). Они охватывают практически все важнейшие разделы физики Солнца и солнечно-земной физики, например:

1) зарождение и развитие активных областей на Солнце: выход новых потоков магнитного поля, образование групп солнечных пятен, развитие в верхних слоях солнечной атмосферы — хромосфере и короне, морфология, физические условия, эволюция, вспышечная активность, взаимодействие активных областей, использование методов наблюдений всех диапазонов спектра излучения;

2) солнечные вспышки: проявление вспышек в различных диапазонах солнечного спектра (наземные и внеатмосферные наблюдения), моделирование деталей активных областей и вспышек, диагностика вспышечной активности, магнитогидродинамика, взаимодействие солнечной плазмы с магнитным полем; аналогия солнечных вспышек и магнитосферных возмущений; механизмы накопления и высвобождения энергии, ускорение частиц, предикторы вспышек;

3) высокоэнергичные излучения в солнечной системе: ускорение частиц на Солнце, модуляционные эффекты галактических космических лучей в межпланетном пространстве, распространение солнечных космических лучей в межпланетном пространстве и их проникновение в магнитосферу Земли, развитие наземных и внеатмосферных методов наблюдений;

4) физика магнитосферы: физика магнитосферной плазмы, физика радиационных поясов Земли, ОНЧ-волны, геомагнитные пульсации, физика плазмосферы, электрические поля и токи, магнитосферно-ионосферные возмущения и т.д.

Комплексный подход к всестороннему изучению активных областей позволил приступить к разработке их объемной модели [85, 166].

Комплексный эксперимент Секции солнечных протонных событий (СПС) Совета АН СССР по физике солнечно-земных связей. Он включает спутниковые наблюдения (солнечные и космические лучи — электроны, протоны, ядра, рентгеновское излучение, гамма-излучение, ультрафиолетовое излучение, нейтроны) и наземные эксперименты (оптические и радиоастрономические, в том числе измерения магнитных полей) для изучения:

характеристик предвспышечных ситуаций: а) динамики магнитных полей и движений в активной области во всех диапазонах спектра, б) предвестников и предшественников СПС во всех диапазонах, в) структуры активных областей во время возникновения и развития протонных событий;

ускоренных частиц в источнике: а) временного профиля и спектров радио-, рентгеновского и гамма-излучений, б) временного профиля выделения энергии в солнечных вспышках во всех диапазонах, в) переходных явлений в солнечной атмосфере — волн, транзитов (перемещающихся возмущений) и т.д.;

характеристик солнечных космических лучей (СКЛ): а) анизотропии потока частиц в начале СПС по данным спутниковых и наземных наблюдений, б) динамики спектров СКЛ, в) химического и изотопного состава СКЛ, г) пространственных градиентов СКЛ.